Vol.12, No.2, Summer 2023, pp.285-305 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.78381.1273 Open access

Estimating the Level of Vulnerability of Informal Settlements in Tabriz City against the Risk of Earthquake

Monir Shirzad Gurjan[a] , Hossein Namfar[b*], Abolfazl Ghanbari[c]

[a] *PhD Candidate in Geography and Urban Planning, Faculty of Environmental Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran*

[b] *Professor, Department of Geography and Urban and Rural Planning, Faculty of Environmental Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran*

[c] *Associate Professor, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran*

Received: 22 August 2022 ***Revised: 18 October 2022*** ***Accepted: 3 December 2022***

Abstract

The purpose of this study is determining the most suitable method to evaluate the vulnerability of informal settlements in Tabriz city against a possible earthquake. ELECTRE FUZZY models and the WASPAS model were used in relation to 13 criteria (passage width, building quality, materials, the number of floors, distance from public open space, distance from urban facilities, distance from medical centers, population density, building density, distance from fault, geological type, plot area, land use) were compared. For this purpose, all informal settlements in Tabriz city were analyzed and the results of both models were evaluated by the authors' field studies. Then, the most suitable method was chosen. The results of the research indicate that according to the WASPAS model, informal settlements located in Region 5 with a rank of 1 are the least vulnerable and region 10 is the most vulnerable with a rank of 6. Moreover, more than 57% of the area of informal settlements in Tabriz city are exposed to very high vulnerability, 11.05% are exposed to high vulnerability, 03.27% are exposed to moderate, and only 4.01% are exposed to low vulnerability. The results of the ELECTRE FUZZY model calculations indicated that the informal settlements located in Mentafah 3 with the rank of 1 are the least and areas 1 and 10 are the most vulnerable with the rank of 5. Moreover, more than 34% of the area of informal settlements in Tabriz city are exposed to very high vulnerability, more than 27% are exposed to high vulnerability, more than 25% are exposed to moderate vulnerability, and only 12.69% are exposed to low vulnerability. Based on the field studies of the researchers, the results of the ELECTRE FUZZY method are more accurate and realistic than the WASPAS method.

Keywords: Informal Settlement, Earthquake, Risk, Texture, Tabriz

---

*. Corresponding author: Hossein NazmFar E-mail: nazmfar@uma.ac.ir Tel: +989143019909

How to cite this Article: Shirzad Gurjan, M., Namfar, H., & Ghanbaric, A. (2023). Estimating the level of vulnerability of informal settlements in Tabriz city against the risk of earthquake. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 12*(2), 285-305.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.78381.1273

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78381.1273

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارۀ چهل و ششم، تابستان ۱٤۰۲، صص ۳۰٤-۲۸۵

مقاله پژوهشی

برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله

منیر شیرزاد گرجان- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
حسین نظم فر[1]- استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
ابوالفضل قنبری- دانشیار دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۵/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/۷/۲٦ تاریخ تصویب: ۱٤۰۱/۹/۱۲

چکیده

در پژوهش حاضر با هدف مشخص کردن مناسب‌ترین روش به‌منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله محتمل، دو مدل ELECTRE FUZZY و مدل WASPAS نسبت به ۱۳ معیار (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) با هم مقایسه شدند. بدین منظور تمامی سکونتگاه‌های غیر رسمی موجود در شهر تبریز مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از هر دو مدل به‌وسیله مطالعات میدانی نویسندگان مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس مناسب‌ترین روش انتخاب شد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که بر اساس مدل WASPAS سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵ با کسب رتبه ۱ کمترین و منطقه ۱۰ با کسب رتبه ٦ بیشترین آسیب‌پذیری را خواهند داشت. همچنین بیش از ۵۷ ٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و

[1] نویسنده مسئول ۰۹۱٤۳۰۱۹۹۰۹ Email: nazmfar@uma.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

شیرزاد گرجان, منیر, نظم فر, حسین, قنبری, ابوالفضل. (۱٤۰۲). برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله. جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۱۲(۲), صص ۳۰۵-۲۸۵

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78381.1273

۱۱/۰۵ ٪ زیاد و 27.03 ٪ متوسط و فقط ٤/۰۱ ٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. نتایج حاصل از محاسبات مدل ELECTRE FUZZY حاکی از آن است که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین و مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه خواهند کرد. همچنین بیش از ٣٤ ٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷ ٪ زیاد و بیش از ۲۵ ٪ در متوسط و تنها ۱۲/٦٩ ٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. بر اساس مطالعات میدانی نویسندگان نتایج حاصل از روش ELECTRE FUZZY نسبت به روش WASPAS دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر است.

کلیدواژه‌ها: سکونتگاه غیر رسمی، زلزله، ریسک، بافت، تبریز.

۱-مقدمه

امروزه نظر به رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت کشورهای درحال‌توسعه نوع خاصی از سکونتگاه‌ها تحت عنوان سکونتگاه‌های غیر رسمی در حال گسترش می‌باشند این سکونتگاه‌ها نماینده چالش‌های توسعه شهری می‌باشند (انزو[1] و همکاران، ۲۰۱۹) و به دلیل نداشتن فرصت‌ها و گزینه‌های مناسب دچار محرومیت اجتماعی می‌شوند در نتیجه تبدیل به لکه‌های نامطلوب شهری می‌شوند (نیرج و ساندرا[2]، ۲۰۱۹). سکونتگاه‌های غیر رسمی به دلیل تراکم بالای جمعیت، کیفیت نامناسب ابنیه، استفاده از مصالح نامرغوب و... در زمان وقوع مخاطرات طبیعی دچار آسیب بسیار جدی خواهند شد. با تحلیل و مشخص کردن مناطق آسیب‌پذیر و همچنین طرح‌های از پیش تعیین شده می‌توان به‌طورجدی میزان خسارت را کاهش داد. رسیدن به این هدف نیازمند تصمیم‌گیری‌های صحیح و به‌موقع است؛ بنابراین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، صورتی دیگر از برنامه‌ریزی مسئله محور می‌باشند که با در نظر گرفتن پارامترهای موجود منجر به انتخاب بهترین گزینه می‌شوند. به دلیل پیچیدگی تصمیم‌گیری‌های مشکلات شهری، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تلفیق آن‌ها با سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری مناسب به‌منظور مشخص کردن میزان آسیب‌پذیری مناطق حادثه‌خیز می‌باشند؛ بنابراین هدف از مطالعه حاضر، مقایسه مدل WASPAS و ELECTRE FUZZY به‌منظور مشخص شدن مناسب‌ترین روش جهت تعین میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز می‌باشد. سکونتگاه‌ها غیر رسمی شهر تبریز ۴۰۰هکتار از مساحت این شهر را به خود اختصاص داده‌اند و دارای جمعیتی بیش از ۴۵۰ هزار نفر می‌باشند (ملکی و همکاران ، ۱۳۹٦). این سکونتگاه‌ها در مجاورت گسل فعال تبریز توسعه پیدا کرده‌اند که از لحاظ نوع ابنیه و برنامه‌ریزی شهری در وضعیت غیر استاندارد قرار دارند و هنگام مواجه با مخاطره زلزله با وجود سطح بالای جمعیتی و سایر عوامل مؤثر در افزایش آسیب‌پذیری شاهد خسارات جبران‌ناپذیر خواهیم بود. در زمینه پیشینه تحقیق به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: خدمت زاده و

1 Enzo et al
2 Neeraj and Sandra

همکاران (۱٤۰۰) در پژوهشی به تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری شهر ارومیه با رویکرد مدیریت بحران زلزله پرداخته‌اند نتایج مطالعات آن‌ها نشان‌دهنده آن است که، بیشترین آسیب‌پذیری در مناطق با شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد و نواحی با تراکم جمعیتی بالا مشاهده می‌شود. نواحی با آسیب‌پذیری خیلی زیاد با ۱۲ / ۳۴ درصد، زیاد با ۱۱ / ۸۱درصد، متوسط با ۳۷ / ۳۰ درصد، کم با ۸۹ / ۲۰ درصد و خیلی کم با ۷/۲ درصد از مساحت بلوک‌های آماری را به خود اختصاص دادند. در حالت کلی می‌توان گفت که ۹۳ / ۴۵ درصد از محدوده موردمطالعه بر اساس معیارهای استفاده شده در تحلیل آسیب‌پذیرند. شماعی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با استفاده از مدل Fuzzy AHP و سیستم اطلاعات مکانی به تحلیل آسیب‌پذیری بافت‌های قدیمی شهر کاشان در برابر زلزله پرداخته‌اند، یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که از لحاظ آسیب‌پذیری ۱۱ درصد مساحت بافت شهر در طیف خیلی کم، ۷ درصد در طیف کم،۱۵ درصد در طیف متوسط، ۲۲ درصد در طیف بالا، و ٤۵ درصد در طیف خیلی بالا قرار دارد. بایرون واکد و همکاران[1](۲۰۲۱) در مقاله‌ای به ارزیابی چند معیاره مبتنی بر GIS برای پاسخ به زلزله ونکوور کانادا پرداخته‌اند، در این مطالعه ، پاسخ سهامداران ناآگاه ، مطلع و غیر متخصص و خبره را در مدل‌سازی MCE برای برنامه‌ریزی پاسخ به زلزله در ونکوور، کانادا مقایسه می‌شوند. با استفاده از مدل‌های MCE با پیچیدگی متوسط تا پایین ، شباهت‌ها و تفاوت‌ها را در اهمیت متغیرهای زیرساختی و اجتماعی اقتصادی، خدمات اضطراری و پتانسیل روانگرایی بین MCE غیر وزنی، MCE غیر متخصص آگاه با پیچیدگی متوسط و MCE کم برجسته شده است. جنا و همکاران[2] (۲۰۲۰) برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر بانداآچه[3] در کشور اندونزی، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS استفاده کردند. در تحقیق مذکور، عوامل مختلف اجتماعی، ساختاری و ژئوتکنیکی موردبررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بخش مرکزی شهر در منطقه آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار گرفته است. همچنین در رابطه با پیشینه تحقیق می‌توان به مواردی همچون اسمیت و همکاران[4](۲۰۲۰)، گوا و کاپوکو[5](۲۰۲۰)، راترجان و همکاران[6](۲۰۲۰) ، یاریان و همکاران[7](۲۰۲۰)، آبانیوا و همکاران[8] (۲۰۱۸) ، لیو[9] و همکاران،(۲۰۱۸) قربانزاده و همکاران (۲۰۱۸)، ونتورا و همکاران[10](۲۰۱٦)، ضرابی و همکاران (۱۳۹۹)، خدادادی و همکاران (۱۳۹۹)، بازدار و همکاران (۱۳۹۹)، حسینی‌خواه و ضرابی (۱۳۹۸)، پاشاپور و همکاران (۱۳۹۸)، حیدریان (۱۳۹٦) ، نیز اشاره کرد. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که اکثر پژوهش‌ها در رابطه با زلزله انجام شده است، ولی در رابطه با میزان

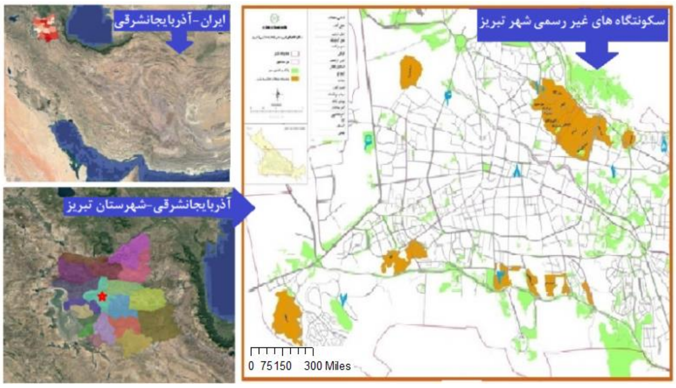
1 Byron Wakd et al
2 Jana et al
3 Banda Aceh
4 Smith et al
5 Goa and Capoco
6 Rutherjan et al
7 Yariyan
8 Abaniva et al
9 Lyu et al
10 Ventura et al

آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی در برابر مخاطره زلزله مطالعات چندانی صورت نگرفته است و بیشتر از روش AHP استفاده شده است. همچنین مطالعات انجام شده در رابطه با سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز فقط چند ناحیه از سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر را مورد تحلیل قرار داده‌اند؛ بنابراین تحلیل کل سکونتگاه‌های غیررسمی شهر تبریز و مقایسه مدل ترکیبی WASPASو ELECTRE FUZZY به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین روش سنجش میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله نوآوری پژوهش می‌باشد.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱-منطقه موردمطالعه

کلان‌شهر تبریز از لحاظ مختصات جغرافیایی در ٤٦ درجه و ١٨ دقیقه طول شرقی و ٣٨ درجه و ٤ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. شهر تبریز دارای ۱۰ منطقه و ۳۸ ناحیه شهری است که از این بین ٦ منطقه و 11 ناحیه دارای جمعیت ساکن سکونتگاه غیررسمی می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه

۲-۲-روش تحقیق

این مطالعه ازنظر روش توصیفی – تحلیلی و هدف کاربردی محسوب می‌شود. برای گردآوری داده‌ها از اسناد و مدارک نوشتاری (مقالات)، داده‌های آماری، اسناد تصویری و بررسی‌های میدانی استفاده شده است. همچنین. نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ آذربایجان شرقی، نقشه شهری ۱/۲۰۰۰، مدل ارتفاع رقومی (DEM)ده متر آذربایجان شرقی، نقشه طبقات ارتفاعی آذربایجان شرقی، نقشه شیب آذربایجان شرقی، نقشه گسل‌های اصلی و فرعی آذربایجان شرقی و نقشه کاربری اراضی شهر تبریز مورد استفاده در پژوهش بودند. در پژوهش حاضر به‌منظور تبیین وضعیت آسیب‌پذیری ناشی از مخاطره زلزله در سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر

شاخص‌های (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) به‌عنوان معیارهای نهایی انتخاب شدند. به‌منظور رتبه‌بندی شاخص‌ها و متغیرها از مدل ELECTRE FUZZY و از تکنیک WASPAS استفاده شده است. بعد از اعمال وزن‌ها در لایه‌های ورودی در نرم‌افزار GIS، لایه‌ها با هم تلفیق شدند و خروجی نهایی به دست آمد. در مرحله آخر نتایج حاصل از مدل ELECTRE FUZZY و تکنیک WASPAS با هم مقایسه شدند.

۲-۳-تکنیک WASPAS

این روش، یکی از روش‌های نسبتاً جدید تصمیم‌گیری چند معیاره با دقت بسیار بالا است که در واقع برگرفته از دو مدل (مدل مجموع وزنی) و (مدل ضرب وزنی) می‌باشد (زاوادسکاس،۲۰۱۲). در روش WASPAS مانند سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، حل مسئله با ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری شروع می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{M1} & X_{M2} & x_{mn} \end{bmatrix}$$ ماتریس تصمیم‌گیری

در ماتریس تصمیم‌گیری فوق، m نشان دهنده تعداد گزینه‌ها و n نشان دهنده تعداد معیارها است. پس از تشکیل این ماتریس، معیارهای مثبت و منفی در آن به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲)، نرمال‌سازی می‌شوند. اندازه‌های مثبت، اندازه‌هایی هستند که زیادشدن آن‌ها برای سیستم مفید باشد و اندازه‌های منفی اندازه‌هایی هستند که کم شدن آن‌ها برای سیستم مفید باشد. به این مرحله، بی‌قاعده سازی می‌گویند که دلیل ضرورت انجام آن، متفاوت بودن جنس و واحد معیارها می‌باشد.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{max_i x_{ij}}$$ رابطه(1)

$$\bar{x}_{ij} = \frac{min_i x_{ij}}{x_{ij}}$$ رابطه(2)

که در این رابطه $\bar{X}\, ij$ نرمال‌سازی شده x_{ij} و i وj به و jjتیب اندکس گزینه‌ها و معیارها می‌باشند. در ادامه باید وزن معیارها با یکی از روش‌های وزن‌دهی به دست آیند(W_j). سپس مقادیر $Q_i^{(1)}$ و $Q_i^{(2)}$ که به ترتیب مربوط به جمع و ضرب وزنی می‌باشند، با استفاده از روابط (۳) و (٤) به دست می‌آیند.

$$Q_i^{(1)} = y_{ijSUM} = \sum_{j=1}^{n} \bar{x}_{ij}\, w_j \qquad i = 1,2, \dots, m \qquad j = 1,2, \dots, n$$ رابطه(3)

$$Q_i^{(2)} = y_{ijmult} = \prod_{j=1}^{n} (\bar{x}_{ij})^{wj}$$ رابطه(4)

$$Q_i = 0.5 Q_i^{(1)} + 0.5 Q_i^{(2)}$$ رابطه(5)

گام بعدی محاسبه معیار مشترک است رابطه (۵) که در این مرحله به نسبت مساوی و از طریق فرمول ۳ و ٤ اهمیت گزینه‌ها محاسبه می‌شود

بر اساس مقدار Q_i می‌توان مقادیر را طبقه‌بندی نمود. دقت و تأثیرگذاری روش و اسپاس در این است که مهم بودن گزینه i ام از طریق محاسبه لاندا در فرمول زیر محاسبه شود. به‌منظور افزایش دقت و اثربخشی رتبه‌بندی فرآیند تصمیم‌گیری، در روش WASPAS یک معادله تعمیم یافته‌تر برای تعیین اهمیت نسبی کل گزینه i ام ، مانند رابطه (٦) ایجاد می‌شود:

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1-\lambda)Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^{n} \bar{x}_{ij}\, w_j + (1-\lambda)\prod_{j=1}^{n} (\bar{x}_{ij})^{wj} \quad (\lambda = 0.0.1 \ldots 1)$$ رابطه (6)

$$Q_i{}^{\lambda} = \lambda i \sum_{j=1}^{n} y_{ijSUM} + (1-\lambda i)\prod_{j=1}^{n} y_{ijmult}$$ رابطه (7)

$$\lambda = \frac{\sigma^2(Q_i^{(2)})}{\sigma^2\left(Q_i^{(1)}\right)+\sigma^2\left(Q_i^{(2)}\right)}$$ رابطه (8)

$$\sigma^2\left(Q_i^{(2)}\right) = \sum_{j=1}^{n}\left(\frac{\left(\prod_{j=1}^{n}(\bar{x}_{ij})^{wj w_j}\right)}{(\bar{x}_{ij})^{wj}(\bar{x}_{ij})^{(1-w_j)}}\right)^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij})$$ رابطه (9)

$$\sigma^2\left(Q_i^{(2)}\right) = \sum_{j=1}^{n} w_j^2\, \sigma^2(\bar{x}_{ij})$$ رابطه (10)

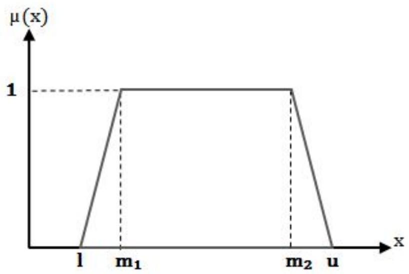
$$\sigma^2(\bar{x}_{ij}) = (0.05\bar{x}_{ij})^2$$ رابط (11)

در نهایت، گزینه‌ها می‌توانند بر مبنای ارزش Q رتبه‌بندی شوند. مقدار بهینه λ بر اساس معادلات بالا به دست می‌آید. مقدار λ ، سهم معادله جمع وزنی و معادله ضرب وزنی در معادله نهایی را مشخص می‌کنند (دانی و همکاران، ۲۰۱٦).

۲-٤- روش ELECTRE FUZZY

حل مسئله با ایجاد ماتریس تصمیم فازی شروع می‌شود (رابطه ۱۳):

برای تشکیل آرایه تصمیم فازی از m گزینه و n مقیاس استفاده می‌شود، ابتدا اهمیت فازی هر مقیاس مشخص می‌شود این اهمیت همان وزن مقیاس است که توانایی دارد مستقیم توسط تصمیم گیرنده تعیین شود و یا از روش‌هایی نظیر AHP FUZZY و یا مدل بهترین بدترین فازی تعیین شود. هرچند می‌توان وزن‌ها را به صورت حتمی تعیین کرد و جهت فازی کردن آن وزن را سه بار تکرار نمود. لازم به ذکر است در تحقیق پیش رو، از روش الکتره فازی ذوزنقه‌ای استفاده شده است (شکل ۲). با توجه به این که اعداد فازی به صورت سلیقه‌ای در نظر گرفته می‌شوند، در پژوهش حاضرعددها بین ۰ و ۱ در نظر گرفته شده است (جدول ۱).



شکل ۲- عدد فازی ذوزنقه‌ای

جدول ۱- تحدید حدود فازی و پارامترهای زبانی

پارامترهای زبانی	عبارت اختصاری	اعداد فازی ذوزنقه‌ای
Very Low (خیلی پایین)	VL	(۰،۰،۰/۱ ،۰/۲)
Low(پایین)	L	(۰/۰،۱/۲ ،۰/۲ ،۰/۳)
Medium Low(نسبتاً پایین)	ML	(۰/۲ ،۰/۳ ،۰/۰،٤/٥)
Medium (متوسط)	M	(۰/٤ ،۰/٥ ،۰/٥ ،۰/٦)
Medium High (نسبتاً بالا)	MH	(۰/٥ ،۰/٦ ،۰/۷ ،۰/۸)
High (بالا)	H	(۰/۷ ،۰/۰ ۸/۸ ،۰/۹)
Very High (خیلی بالا)	VH	(۰/۸ ،۰/۹ ،۱،۱)

منبع: سینوار و همکاران[1]، ۲۰۱٤

$$\tilde{U} = \begin{bmatrix} \tilde{W}_1 & \tilde{W}_2 & \cdots & \tilde{W} \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ . & . & \cdots & . \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (13)}$$

۲-٦-Normalization آرایه تصمیم

در روش الکتره فازی توسـط دو فرمول زیر برای معیارهای مثبت و منفی انجام می‌شـود اگر معیار حالت مثبت داشت از رابطه (١٤) استفاده می‌کنیم و اگر معیار حالت منفی داشته باشد از رابطه (١٥) استفاده می‌شود.

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}{}^{i}, r_{ij}{}^{y}, r_{ij}{}^{w}) = \left(\frac{x_{ij}{}^{i}}{c_j^*}, \frac{x_{ij}{}^{y}}{c_j^*}, \frac{x_{ij}{}^{w}}{c_j^*}\right), \quad c_j^* = \max(r_{ij}{}^{w}), j \in B \quad \text{رابط (14)}$$

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}{}^{i}, r_{ij}{}^{y}, r_{ij}{}^{w}) = \left(\frac{a_j^-}{x_{ij}{}^{w}}, \frac{a_j^-}{x_{ij}{}^{y}}, \frac{a_j^-}{x_{ij}{}^{i}}\right), \quad a_j^- = \min(x_{ij}{}^{i}), j \in C \quad \text{رابط (15)}$$

۲-۷-تشکیل آرایه Normalization وزن دار

در این مرحله وزن معیارهایی را که در گام ۱ بدســت آورده بودیم، در آرایه نرمال شــده ضــرب می‌کنیم. تا آرایه وزن دار به وجود آید (جدول ٤).

۲-۸-محاسبه امتداد بین هر دو انتخاب

در این مرحله با اســتفاده از رابطه (١٦) امتداد بین هر دو انتخاب مســاله را نســبت به هر رابطه بدســت می‌آوریم. مجموعه سـازگار و ناسـازگار از آرایه وزن دار شـده بدسـت می‌آیند و برای تشـکیل آرایه‌های سـازگار و ناهماهنگ از رابطه (١٦) استفاده می‌شود.

$$d = (\tilde{A}, B) = \sqrt{\sum_{k=1}^{3} (A_k - B_k)^2} \quad \text{رابط (16)}$$

1 Senvar et al

۲-۹- ساخت کلکسیون هماهنگ و ایجاد آرایه هماهنگ

کلکسیون هماهنگ کلکسیونی از گزینه است که $V_{xj}>V_{yj}$ است که V همان آرایه نرمال وزن دار است که آ؛ که هماهنگ از مجموع وزن تمام گزینه‌ها موجود در گزینه‌های هماهنگ بر اساس رابطه (۱۷) حاصل می‌شود (جدول ۵).

$$\tilde{C}=\begin{bmatrix} \tilde{C}_{11} & \cdots & \tilde{C}_{1X} & \cdots & \tilde{C}_{1(m-1)} & \tilde{C}_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \tilde{C}_{x1} & \cdots & \cdots & \cdots & \tilde{C}_{x(m-1)} & \tilde{C}_{xm} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \tilde{C}_{xy} & \cdots & \cdots \\ \tilde{C}_{(m-1)1} & \cdots & \tilde{C}_{(m-1)y} & \cdots & \cdots & \cdots \\ \tilde{C}_{m1} & \cdots & \cdots & \cdots & \tilde{C}_{m(m-1)} & \tilde{C}_{mm} \end{bmatrix}$$

$$where\ \tilde{C}_{xy}=(c_{xy}^{i},c_{xy}^{y},c_{xy}^{w})=\left(\sum_{jej^c}W_j^i,\sum_{jej^c}W_j^y,\sum_{jej^c}W_j^w\right) \quad \text{رابطه} (17)$$

در نهایت مقدار نهایی کلکسیون هماهنگ را از رابطه (۱۸) بدست می‌آوریم؛ که این همان میانگین حسابی از آرایه هماهنگ است.

$$\tilde{\tilde{C}}=\sum_{x=1}^{m}\sum_{y=1}^{(m-1)}\frac{\tilde{C}x_y}{m(m-1)} \quad \text{رابطه} (18)$$

۲-۱۰- تشکیل آرایه بولین هماهنگ

با استفاده از مقدار نهایی و آرایه هماهنگ، می‌توان آرایه بولین (صفر و یک) را ایجاد کرد مطابق رابطه (۱۹). اگر درایه آرایه هماهنگ از مقدار نهایی بزرگ‌تر باشد عدد متناظر آن در آرایه بولین ۱ می‌شود و برعکس.

$$E=\begin{bmatrix} e_{11} & \cdots & e_{1X} & \cdots & e_{1(m-1)} & e_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{x1} & \cdots & \cdots & \cdots & e_{x(m-1)} & e_{xm} \\ \cdots & \cdots & \cdots & e_{xy} & \cdots & \cdots \\ e_{(m-1)1} & \cdots & e_{(m-1)y} & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{m1} & \cdots & \cdots & \cdots & e_{m(m-1)} & e_{mm} \end{bmatrix}$$

$$where\ \{\tilde{C}_{xy}\geq\tilde{\tilde{C}}\leftrightarrow e_{xy}=1,\quad and\ \tilde{C}_{xy}\leq\tilde{\tilde{C}}\leftrightarrow e_{xy}=0 \quad \text{رابطه} (19)$$

۲-۱۱- ساخت کلکسیون ناهماهنگ و ایجاد آرایه ناهماهنگ

کلکسیون ناهماهنگ کلکسیونی از گزینه‌ها $V_{xj}<V_{yj}$ است. آرایه ناهماهنگ یک آرایه مربعی می‌باشد که بعد آن تعداد انتخاب‌هاست. هر یک از درایه‌های این آرایه، شاخص ناهماهنگ بین دو انتخاب نامیده می‌شود (جدول٦) جدول ٦را این شاخص از رابطه (۲۰) بدست می‌آید.

$$D=\begin{bmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1X} & \cdots & d_{1(m-1)} & d_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{x1} & \cdots & \cdots & \cdots & d_{x(m-1)} & d_{xm} \\ \cdots & \cdots & \cdots & d_{xy} & \cdots & \cdots \\ d_{(m-1)1} & \cdots & d_{(m-1)y} & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{m1} & \cdots & \cdots & \cdots & d_{m(m-1)} & d_{mm} \end{bmatrix}$$

$$where\quad d_{xy}=\frac{max_{jeJ^D}|\tilde{v}_{xj}-\tilde{v}_{yj}|}{max_j|\tilde{v}_{xj}-\tilde{v}_{yj}|}=\frac{max_{jeJ^D}|d(\max(\tilde{v}_{xj},\tilde{v}_{yj}),\tilde{v}_{xj}|}{max_j|d(\max(\tilde{v}_{xj},\tilde{v}_{yj}),\tilde{v}_{xj})|} \quad \text{رابطه} (20)$$

همچنین مقدار نهایی ناهماهنگی با استفاده از رابطه (۲۱) بدست می‌آید:

$$\bar{d} = \sum_{x=1}^{m} \sum_{y=1}^{(m-1)} \frac{d_{xy}}{m(m-1)}$$ رابطه(21)

۲-۱۲-تشکیل آرایه بولین ناهماهنگ

با اســـتفاده از مقدار نهایی و آرلیه ناهماهنگ، می‌توان آرایه بولین (صـــفر و یک) را ایجاد کرد. اگر درلیه آرلیه ناهماهنگ از مقدار نهایی بیشتر باشد عدد متناظر آن در آرایه بولین صفر می‌شود و بر عکس مطابق رابطه (۲۲).

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1X} & \cdots & f_{1(m-1)} & f_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f_{x1} & \cdots & \cdots & \cdots & f_{x(m-1)} & f_{xm} \\ \cdots & \cdots & \cdots & e_{xy} & \cdots & \cdots \\ f_{(m-1)1} & \cdots & f_{(m-1)y} & \cdots & \cdots & \cdots \\ f_{m1} & \cdots & \cdots & \cdots & f_{m(m-1)} & f_{mm} \end{bmatrix}$$

$$where \{d_{xy} \geq \bar{d} \leftrightarrow f_{xy} = o, \quad and\ d_{xy} \leq \bar{d} \leftrightarrow f_{xy} = 1$$ رابطه (22)

۲-۱۳- تشکیل آرایه انتهایی

آرایه انتهایی از ضـرب درایه‌های متناظر دو آرایه بولین هماهنگ و ناهماهنگ بدسـت می‌آید. به عبارتی H=E*F. ماتریس H نیز یک آرایه صفر و یک است (جدول ۷).

۲-۱٤- طبقه‌بندی انتهایی انتخاب ها

آرایه تسلط انتهایی (H) اولویت‌های جزئی انتخاب‌ها را بیان می‌کند. به‌طور مثال، اگر مقدار h_{ke} برابر یک باشد به این معنی اســـت که برتر بودن انخاب k بر انتخاب e در هر دوحالت هماهنگ و غیر هماهنگ قابل قبول اســـت؛ بنابراین هنوز انتخاب k شـانس مسـلط شـدن توسـط انتخاب‌های دیگر را دارد. انتخابی باید انتخاب شـود که بیشـتر از آن که مغلوب شود، تسلط داشته باشد و از این نظر می‌توان گزینه‌ها را طبقه‌بندی کرد (جدول ۸) (جاسمی و احمدی، ۲۰۱۸).

۳-نتایج و بحث

۳-۱-نتایج حاصل از مدلWASPAS

پس از مشخص شدن معیارهای مورد بررسی در آسیب‌پذیری بافت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در مدل WASPASوزن هر معیار بر اساس روش آنتروپی شانون مشخص شد (جدول ۲).

جدول ۲- وزن معیارهای پژوهش با استفاده از روش آنتروپی شانون

معیار	عرض معبر	کیفیت ابنیه	جنس مصالح	کاربری اراضی	تعداد طبقات	مساحت قطعات	زمین‌شناسی	فاصله از تأسیسات شهری	فاصله از فضای باز عمومی	فاصله از مراکز درمانی	فاصله از گسل	تراکم جمعیت	تراکم ساختمان
وزن	۰.۰۹۵۱	۰.۰۷۲۱	۰.۰۷۵۱	۰.۰٦٤۱	۰.۰۹٤۱	۰.۰۸۵۱	۰.۰۵۲۱	۰.۰۸۳۱	۰.۰٦۲۸	۰.۰٦۵۸	۰.۰٦۳۱	۰.۰۹٦٤	۰.۰۹۱۱

به‌منظور تشکیل ماتریس (گزینه هاو معیارها) در تکنیک WASPAS باید گزینه‌ها مشخص شوند؛ بنابراین مناطقی که سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در آنجا واقع شده‌اند به‌عنوان گزینه‌های مدلWASPAS در نظر گرفته شدند. (گزینه ۱ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۱، گزینه ۲ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ ، گزینه ۳ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ٤ ، گزینه ٤ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵، گزینه ۵شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷، گزینه ٦ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۱۰) در مرحله بعد مقادیر هر معیار برای تک تک گزینه‌ها مشخص شد. درنهایت بر اساس روابط ذکر شده برای تکنیکWASPAS ، محاسبات در محیط نرم‌افزار متلب انجام گردید که نتایج مدل مذکور در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج محاسبات بر اساس مدل WASPAS برای مناطق آسیب‌پذیر

گزینه‌ها	wsm	wpm	Q1	Q2	λ	score
گزینه ۱	۰.۱۸۱۸۸۲	۰.۰۹۵۷۰۵	۰.۱۷۹۰۰۰	۰.۱۸۲۰۰۶	۰.۰۹۲۵۳	۰.۱۰۳۶۷۹
گزینه ۲	۰.۳۰۸۲۵۲	۰.۱۴۴۲۶۳	۰.۵۲۱۰۰۵	۰.۴۱۴۰۰۶	۰.۰۷۳۶۴۹	۰.۱۵۶۳۴۱
گزینه ۳	۰.۳۸۳۰۹۳	۰.۱۸۵۵۹۵	۰.۶۴۳۰۰۵	۰.۶۸۵۰۰۶	۰.۰۹۶۳۵۳	۰.۲۰۴۶۲۵
گزینه ٤	۰.۶۵۹۷۱۱	۰.۳۵۵۰۳۹	۰.۰۰۰۱۲۳	۰.۲۵۱۰۰۵	۰.۱۶۹۵۲۲	۰.۴۰۶۶۸۷
گزینه ۵	۰.۲۷۶۲۴۹	۰.۱۱۱۱۷۱	۰.۳۶۹۰۰۰	۰.۲۴۶۰۰۶	۰.۰۶۲۴۹۹	۰.۱۲۱۴۸۹
گزینه ٦	۰.۲۱۷۹۲۷	۰.۰۹۱۴۰۶	۰.۲۶۲۰۰۵	۰.۱۶۶۰۰۶	۰.۰۵۹۵۸۲	۰.۰۹۸۹۴۵

وزن‌های اختصاص داده شده به هر یک از معیارها نرمال شده و در جدول ۲ ارائه شده است که بر اساس جدول فوق سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱۰ از نظر آسیب‌پذیری در رتبه اول قرار دارد و سکونتگاه‌های واقع

در منطقه ۵ رتبه ٦ را کسب کرده‌اند؛ بنابراین بر اساس نتایج حاصل از جدول فوق آسیب‌پذیرترین سکونتگاه‌های غیر رسـمی متعلق به منطقه ۱۰ می‌باشـد. در مرحله بعد تغییرات وزن‌های اندازه گیری شـده طبق تکنیک پژوهش، بر روی تک تک شاخص‌های پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

۳-۲-نتایج حاصل از مدل ELECTRE FUZZY

رتبه‌بندی سـکونتگاه‌های غیر رسـمی واقع در مناطق شـهر تبریز بر اسـاس محاسـبات ماتریس چیرگی نهایی H(جدول ۷) به ترتیب زیر است:

سـکونتگاه‌های غیر رسـمی واقع در منطقه ۳> سـکونتگاه‌های غیر رسـمی واقع در مناطق ٤ و ۵> سـکونتگاه غیر رسمی واقع در منطقه ۷> سکونتگاه غیر رسمی واقع در منطقه ۱ و ۱۰

اختلاف امتیاز محاسبه شده با روش الکتره فازی، حاکی از وجود اختلاف و شکاف بین سکونتگاه‌های غیر رسمی مناطق شـهر تبریز در برابر آسـیب‌پذیری از خطر زلزله اسـت، به‌طوری که سـکونتگاه غیر رسـمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین میزان آسیب‌پذیری را تجربه خواهد کرد در حالی که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را از مخاطره زلزله تجربه خواهند کرد.

جدول ٤- اعداد فازی و ماتریس موزون شاخص‌ها

مناطق	c1 (عرض معبر)					c2(کیفیت ابنیه)				
	فازی	موزون فازی				فازی	موزون فازی			
منطقه ۱	MH	0.00590	0.00418	0.00352	0.00342	L	0.00151	0.00072	0.00072	0.00000
منطقه ۳	M	0.00447	0.00333	0.00333	0.00219	MH	0.00260	0.00238	0.00195	0.00144
منطقه ٤	M	0.00447	0.00333	0.00333	0.00219	ML	0.00159	0.00108	0.00079	0.00505
منطقه ۵	H	0.00932	0.00418	0.00418	0.00342	H	0.03749	0.00187	0.00187	0.00166
منطقه ۷	M	0.00447	0.00333	0.00333	0.00219	M	0.00209	0.00180	0.00180	0.00144
منطقه ۱۰	MH	0.00590	0.00418	0.00352	0.00342	VL	0.00130	0.00094	0.00000	0.00000
وزن	۰.۰۹۵۱					۰.۰۷۲۱				
مناطق	C3 (جنس مصالح)					C4(کاربری اراضی)				
	فازی	موزون فازی				فازی	موزون فازی			

منطقه ۱	H	0.03980	0.00210	0.00210	0.00173	L	0.00154	0.00128	0.00128	0.00641
منطقه ۳	M	0.00218	0.00188	0.00188	0.00150	ML	0.00205	0.00096	0.00083	0.00449
منطقه ٤	VL	0.00083	0.01000	0.00075	0.00000	M	0.00244	0.00224	0.00224	0.00128
منطقه ۵	L	0.00128	0.00098	0.00000	0.00000	MH	0.01987	0.00212	0.00173	0.00128
منطقه ۷	ML	0.00143	0.00113	0.00083	0.00526	VL	0.00083	0.00071	0.00000	0.00000
منطقه ۱۰	MH	0.00270	0.00248	0.00203	0.00150	L	0.00154	0.00128	0.00128	0.00641
وزن	۰.۰۷۵۱					۰.۰٦٤۱				
مناطق	**C5** (تعداد طبقات)					**C6**(مساحت قطعات)				
	فازی	موزون فازی				فازی	موزون فازی			
منطقه ۱	L	0.00198	0.00094	0.00094	0.00000	L	0.00179	0.00085	0.00085	0.00000
منطقه ۳	ML	0.00207	0.00141	0.00104	0.00659	M	0.00247	0.00213	0.00213	0.00170
منطقه ٤	MH	0.02635	0.00311	0.00198	0.00188	MH	0.00306	0.00281	0.00230	0.00170
منطقه ۵	MH	0.02635	0.00311	0.00198	0.00188	H	0.04425	0.00221	0.00221	0.00196
منطقه ۷	M	0.00301	0.00235	0.00235	0.00188	ML	0.00187	0.00128	0.00094	0.00596
منطقه ۱۰	VL	0.00169	0.00122	0.00000	0.00000	VL	0.00153	0.00111	0.00000	0.00000
وزن	۰.۰۹٤۱					۰.۰۸۵۱				
مناطق	**C7** (زمین‌شناسی)					**C8**(فاصله از تأسیسات شهری)				
	فازی	موزون فازی				فازی	موزون فازی			
منطقه ۱	MH	0.01042	0.00167	0.00115	0.00104	ML	0.00183	0.00125	0.00091	0.00582
منطقه ۳	ML	0.00125	0.00068	0.00057	0.00365	VL	0.00150	0.00108	0.00000	0.00000

منطقه ٤	VL	0.00089	0.00068	0.00000	0.00000	MH	0.00299	0.00274	0.00224	0.00166
منطقه ۵	MH	0.01042	0.00167	0.00115	0.00104	H	0.04321	0.00216	0.00216	0.00191
منطقه ۷	VL	0.00089	0.00068	0.00000	0.00000	L	0.00175	0.00083	0.00083	0.00000
منطقه ۱۰	MH	0.01042	0.00167	0.00115	0.00104	M	0.00241	0.00208	0.00208	0.00166
وزن	۰.۰۵۲۱					۰.۰۸۳۱				

ادامه جدول ٤-اعداد فازی و ماتریس موزون شاخص‌ها

مناطق	**C9** (فاصله از فضاهای باز عمومی)					**C10** (فاصله از مراکز درمانی)				
	فازی	موزون فازی				فازی	موزون فازی			
منطقه ۱	H	0.00427	0.00163	0.00163	0.00144	VL	0.00118	0.00086	0.00000	0.00000
منطقه ۳	M	0.00182	0.00157	0.00157	0.00126	M	0.02171	0.00165	0.00165	0.00132
منطقه ٤	ML	0.00170	0.00094	0.00069	0.00440	ML	0.00987	0.00099	0.00072	0.00461
منطقه ۵	VH	0.00528	0.00458	0.00364	0.00270	ML	0.00987	0.00099	0.00072	0.00461
منطقه ۷	MH	0.00245	0.00207	0.00170	0.00126	L	0.00171	0.00066	0.00066	0.00000
منطقه ۱۰	VH	0.00528	0.00458	0.00364	0.00270	VL	0.00118	0.00086	0.00000	0.00000
وزن	۰.۰۶۲۸									
مناطق	**C11** (فاصله از گسل)					**C12** (تراکم جمعیت)				
	فازی	موزون فازی				فازی	موزون فازی			
منطقه ۱	VL	0.00114	0.00082	0.00000	0.00000	L	0.00202	0.00096	0.00096	0.00000
منطقه ۳	L	0.00133	0.00063	0.00063	0.00000	VL	0.00174	0.00125	0.00000	0.00000
منطقه ٤	H	0.03912	0.00164	0.00164	0.00145	MH	0.02603	0.00318	0.00260	0.00193
منطقه ۵	VL	0.00114	0.00082	0.00000	0.00000	M	0.00386	0.00241	0.00241	0.00193
منطقه ۷	MH	0.00574	0.00208	0.00170	0.00126	MH	0.02603	0.00318	0.00260	0.00193
منطقه ۱۰	VL	0.00114	0.00082	0.00000	0.00000	ML	0.00212	0.00145	0.00106	0.00675
وزن	۰.۰۶۳۱					۰.۰۹٦٤				

مناطق	**C13**(تراکم ساختمان)				
	فازی	موزون فازی			
منطقه ۱	L	0.00191	0.00091	0.00091	0.00000
منطقه ۳	L	0.00191	0.00091	0.00091	0.00000

منطقه ٤	M	0.00310	0.00228	0.00228	0.00182
منطقه ٥	VL	0.00164	0.00118	0.00000	0.00000
منطقه ٧	H	0.05375	0.00237	0.00237	0.00210
منطقه ١٠	ML	0.00200	0.00137	0.00100	0.00638
وزن	٠.٠٩١١				

جدول ٥- تشکیل ماتریس هماهنگ

	منطقه ١	منطقه ٣	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٧	منطقه ١٠
منطقه ١	٠	٠.٥٢٩	٠.٤٣٢	٠.١٦٦	٠.٤٣٢	٠.٤١٠
منطقه ٣	٠.٣٨	٠	٠.١٨٢	٠.٢٩٥	٠.٣٤٨	٠.٣٨٠
منطقه ٤	٠.٥٦٨	٠.٧٢٣	٠	٠.٣٢٦	٠.٥٨٠	٠.٦٣٥
منطقه ٥	٠.٧١٩	٠.٧٠٥	٠.٥١٤	٠	٠.٦٧٤	٠.٥٥٩
منطقه ٧	٠.٥٦٨	٠.٥٥٧	٠.١٧٦	٠.٣٢٩	٠	٠.٥٦٨
منطقه ١٠	٠.٣٩	٠.٦٢	٠.٣٨٦	٠.٢٦٣	٠.٤٣٢	٠

جدول ٦-تشکیل ماتریس نا هماهنگ

	منطقه ١	منطقه ٣	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٧	منطقه ١٠
منطقه ١	٠	٠.٦٣	٠.٦٧	٠.١٧	٠.٦٣	٠.٢٢
منطقه ٣	٠.١	٠	٠.٧٨	٠.٣٤	٠.٩٩	٠.٣٣
منطقه ٤	٠.٣٨	٠.٥٨	٠	٠.٩٥	١.٠٢	٠.٩٥
منطقه ٥	١.٠٢	٠.١٧	٠.١٩	٠	٠.٨٣	٠.٨٣
منطقه ٧	٠.١٤	٠.٩٩	٠.٦٣	٠.٦٢	٠	٠.٩٦
منطقه ١٠	٠.٩٧	٠.٩٩	٠.٥٧	٠.٨٣	٠.٢٤	٠

جدول ٧-تشکیل ماتریس چیرگی نهایی H

	منطقه ١	منطقه ٣	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٧	منطقه ١٠
منطقه ١	٠	١	١	٠	١	٠
منطقه ٣	٠	٠	٠	٠	٠	٠
منطقه ٤	٠	١	٠	٠	١	٠
منطقه ٥	١	٠	٠	٠	١	١
منطقه ٧	٠	١	٠	٠	٠	١
منطقه ١٠	١	١	١	٠	٠	٠

جدول ۸- رتبه‌بندی نهای

	WIN	Loss	Diff	Rank
منطقه ۱	۳	۳	۰	۵
منطقه ۳	۰	٦	٦	۱
منطقه ٤	۳	۳	۳	۲
منطقه ٥	۳	۳	۳	۲
منطقه ۷	۲	٤	۲	٤
منطقه ۱۰	۳	۳	۰	٥

۳-۳-وزن‌دهی و طبقه‌بندی آسیب‌پذیری هر کدام از متغیرها

بعد از اختصاص دادن داده‌ها به هر لایه، براساس طیف آسیب‌پذیری هر کدام از پارامترها، پارامترها وزن‌دهی شدند. اساس طبقه‌بندی‌ها بر اساس مطالعات پیشین بوده است. توابع مربوط به تک تک پارامترها و وزن دهی به آن‌ها داخل شکل هر پارامتر آورده شده است.

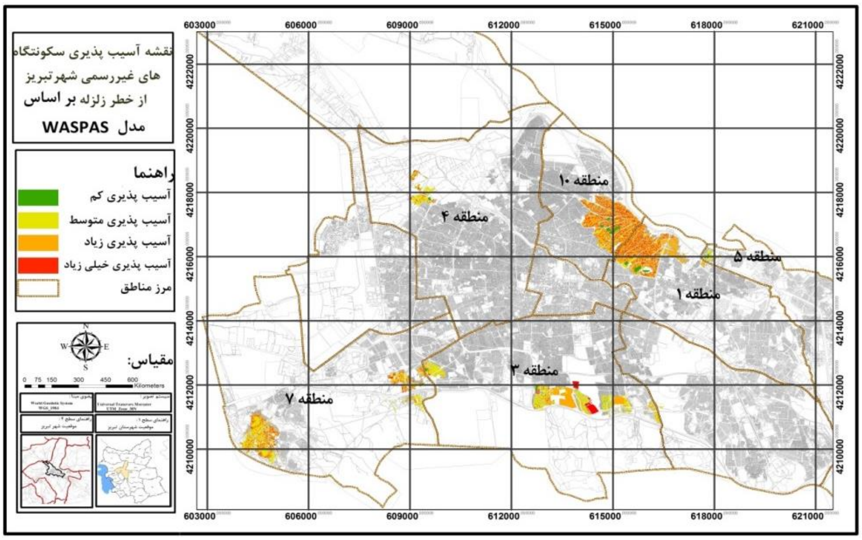
۳-٤-تلفیق نقشه ها و برآورد آسیب‌پذیری کل بر اساس مدل WASPAS

برای برآورد میزان آسیب‌پذیری کلی سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر مخاطره زلزله بعد از مشخص شدن میزان آسیب‌پذیری هر پهنه بر اساس مدل WASPAS لایه‌های هم مقیاس شده مورد استفاده در پژوهش در محیط نرم‌افزار GIS با هم تلفیق شدند؛ بنابراین در نقشه نهایی (شکل ۳) میزان آسیب‌پذیری در چهار گروه دسته بندی شدند. نتایج نهایی حاکی از آن است .۹۱ ۵۷ ٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۱۱.۰۵ ٪ در معرض آسیب‌پذیری زیاد و ۰۳ .۲۷ ٪ در معرض آسیب‌پذیری متوسط و تنها ٤.۰۱ ٪ از بافت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری کم در مقابل خطر زلزله قرار دارند (جدول ۹). همچنین از نظر طیف‌های آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱۰ و ۱در طیف خیلی زیاد، سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷ در طیف زیاد تا متوسط، پس از آن سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ در طیف متوسط و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ٤ در طیف متوسط تا کم و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ٥ در طیف کم تا متوسط آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند.

جدول ۹-مساحت پهنه‌های مختلف آسیب‌پذیری ناشی از زلزله سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	۲۴۸۲۷۰۱.۰۱	۵۷.۹۱
آسیب‌پذیری زیاد	۴۷۳۱۷۶.۶۹	۱۱.۰۵

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب‌پذیری متوسط	۱۱۵۸۷۱۹.۵۹	۲۷.۰۳
آسیب‌پذیری کم	۱۷۲۱۳۱.۷۶	۴.۰۱



شکل ۳- نقشه میزان کلی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله بر اساس روش WASPAS

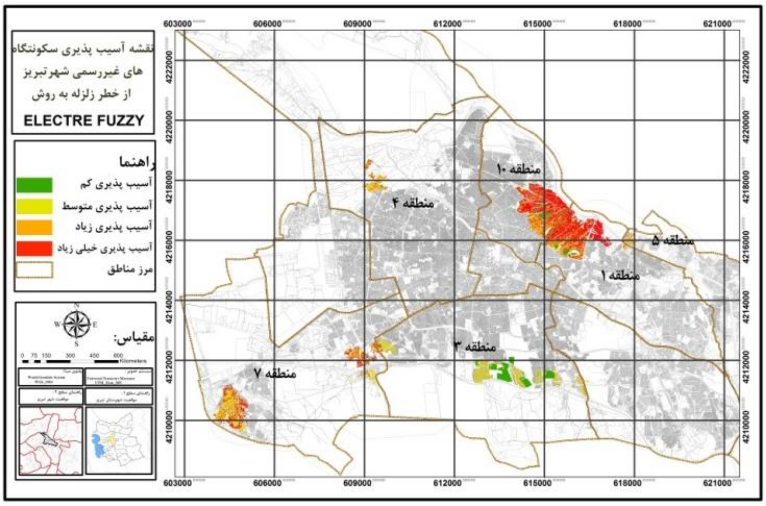
۳-۶-تلفیق نقشه ها و برآورد آسیب‌پذیری کل بر اساس مدل ELECTRE FUZZY:

در این مرحله از پژوهش به‌منظور برآورد میزان آسیب‌پذیری کلی سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز از گامای فازی استفاده شد. بدین منظور ابتداد داده‌ها، فازی سازی شدند سپس برای تلفیق لایه‌های فازی شده با یکدیگر و تهیه نقشــه نهایی از روش الکتره فازی اســتفاده کردیم تا نقشــه‌ها وزن دار شــوند و تأثیر هر شــاخص در محاســبه میزان آسـیب‌پذیری واقعی باشـد. بدین ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل گاماهای مورد اسـتفاده (۰.۸۰، ۰.۸۵، ۰.۹۰ ، ۰.۹۵) به‌منظور تهیه نقشه نهایی با استفاده از ابزار zonal statistics برای تک تک مناطقی که سکونتگاه غیر رسمی شهر تبریز در آن‌ها واقع شـده بود محاسـبه شـد و از این بین گامای ۰.۹۵ به‌عنوان بهترین گاما به‌منظور پهنه بندی آسـیب‌پذیری انتخاب شـد. در نقشـه نهایی (شکل ٤) میزان آسیب‌پذیری در چهار گروه دسته بندی شـدند. نتایج نهایی حاکی از آن اسـت که بیش از ٣٤ ٪ از مسـاحت سکونتگاه‌های غیر رسـمی شـهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷ ٪ در معرض آســیب‌پذیری زیاد و بیش از ۲۵ ٪ در معرض آســیب‌پذیری متوســط و تنها ۱۲.٦۹ ٪ از بافت ســکونتگاه‌های غیر رســمی شــهر تبریز در معرض آســیب‌پذیری کم در مقابل خطر زلزله قرار دارند (جدول ۱۰). همچنین از نظر طیف‌های آســیب‌پذیری ســکونتگاه‌های غیر رســمی واقع در مناطق ۱ و ۱۰ در طیف خیلی زیاد،

سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷ در طیف زیاد، سکونتگاه‌های واقع در مناطق ٤و ۵ در طیف زیاد تا متوسط و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ در طیف متوسط تا کم آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند.

جدول ۱۰- مساحت پهنه‌های مختلف آسیب‌پذیری ناشی از زلزله سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	۱۴۸۳۶۴۶	۳۴.۶۱
آسیب‌پذیری زیاد	۱۱۶۳۰۰۲	۲۷.۱۳
آسیب‌پذیری متوسط	۱۰۹۶۲۹۱	۲۵.۵۷
آسیب‌پذیری کم	۵۴۳۷۸۹	۱۲.۶۹



شکل ٤- نقشه میزان کلی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله با عملگر گامای ۰.۹۵ و روش ELECTRE FUZZY

٤-جمع‌بندی

در پژوهش حاضر با هدف مشخص کردن مناسب‌ترین روش به‌منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله محتمل، دو مدل ELECTRE FUZZY و مدل ترکیبی WASPAS نسبت به ۱۳ معیار (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) با هم مقایسه شدند. بدین منظور تمامی سکونتگاه‌های غیر رسمی موجود در شهر تبریز مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که بر اساس مدل WASPAS سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵ با

کسب رتبه ۱ کمترین و منطقه ۱۰ با کسب رتبه ٦ بیشترین آسیب‌پذیری را خواهند داشت. همچنین بیش از ۵۷ ٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۱۱/۰۵ ٪ زیاد و 27.03 ٪ متوسط و فقط ٤/۰۱ ٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. نتایج حاصل از محاسبات مدل ELECTRE FUZZY حاکی از آن است که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین و مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه خواهند کرد. همچنین بیش از ۳٤ ٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷ ٪ زیاد و بیش از ۲۵ ٪ در متوسط و تنها ۱۲/٦۹ ٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. بر اساس مطالعات میدانی نویسندگان نتایج حاصل از روش ELECTRE FUZZY نسبت به روش WASPAS دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر می‌باشد. روش ELECTRE FUZZY دارای توانایی تحلیل چندین محیط با حاکمیت ابهام می‌باشد. سکونتگاه‌های غیر رسمی که در طیف خیلی زیاد آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند، شامل محلاتی می‌باشند که دارای بیشترین تراکم جمعیتی و بافت ریز دانه هستند، اکثراً فاقد بناهای مقاوم‌اند و بدون برنامه‌ریزی اصولی بنا شده‌اند و از نظر پارامتر معبر، دارای معبرهای تنگ و کم‌عرض هستند؛ و اکثراً در حریم گسل شمال تبریز گسترش پیدا کرده‌اند؛ بنابراین افزایش مقادیر پارامترهای مانند تراکم جمعیت، کیفیت ابنیه، فاصله از گسل، تراکم ساختمان و... باعث شده تا سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در این محلات در طیف آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار بگیرند. در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در صورت مدیریت صحیح ساخت‌وساز و رعایت دقیق ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله در سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز شاهد نزول خطرات ناشی از زلزله خواهیم بود.

کتابنامه

بازدار، سجاد؛ زندمقدم، محمدرضا؛ کامیابی، سعید؛ ۱۳۹۹. سنجش و ارزیابی کمی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله نمونه موردی: استان ایلام. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال بیستم، شماره ۵۹. صص ۲۱۲-۱۹۷.
http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3315-fa

پاشاپور، حجت‌الله؛ قربانی، رامین؛ فرهادی، ابراهیم؛ درودی‌نیا، عباس؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: کلانشهر تبریز. *فصلنامه آمایش محیط*، شماره ٤۵. صص ٦۹-۵۰
https://sid.ir/paper/130783/fa

حسینی‌خواه، حسین و ضرابی، اصغر؛ ۱۳۹۸. نقش مدل ترکیبی تصمیم‌گیری WASPAS در شناسایی پهنه‌های لرزه‌خیز پژوهش موردی: مراکز جمعیتی شهرستان بهمئی در استان کهکیلویه و بویراحمد. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، سال ششم، شماره ۲، صص ١٦٤-۱۷۵.
https://sid.ir/paper/380009/fa

حیدریان، شیدا؛ رحیمی، محمود؛ فتح الهی، ثریا؛ غفوری، سیروان؛ ۱۳۹٦. تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری سکونتگاه‌های غیر رســمی در برابر زلزله با رویکرد اجتماعی نمونه موردی: محله فرحزاد تهران. *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، شماره ۱۱، ۲٦۰-۲٤٦.

https://sid.ir/paper/505222/fa

خدادادی فاطمه؛ انتظاری، مژگان؛ ساسان پور، فرزانه؛ ۱۳۹۹. تحلیل آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی* ، شماره ٥٦، صص ۱۱۳-۹۳.

https://sid.ir/paper/390384/fa

خدمت زاده، علی؛ موسوی، میر نجف؛ یوسف‌زاده، اردشیر؛۱٤۰۰. تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله مطالعه موردی: شهر ارومیه. *فصلنامه علمی مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*، دوره ۱۶، شماره۱ ،صص ٦۲۲-٤۳.

http://jshsp.iaurasht.ac.ir

شماعی، علی؛ دانشور خرم، عاطفه؛ روان‌بخش، احمد؛ افسر، مجید؛ ۱۳۹۹. تحلیل آسیب‌پذیری بافت‌های قدیمی شهر کاشان در برابر زلزله. *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دورۀ ۵۲. شمارۀ ۱، صص ۱۳۰-۱۱۱

https://sid.ir/paper/379608/fa

ضرابی، اصغر؛ عباسی، شایسته؛ مشکینی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۹. ارزیابی توسعه پایدار شهری با تأکید بر رویکرد تاب‌آوری در سکونتگاه‌های غیررسمی موردمطالعه سکونتگاه‌های غیررسمی شهر سنندج. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۴ ، شماره ۷٤ ، صص ۱۳۳-۱۱۹.

doi: 10.22034/gp.2021.10776

ملکی، سعید؛ امانپور، سعید؛ صفایی پور، مسعود؛ پورموسوی، سیددانا؛ مودت، الیاس؛ ۱۳۹٦. ارزیابی طیف تاب آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی، نمونه موردی شهر ایلام . *نشریه علمی پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی* ، سال ۲ شماره ۱۱،صص ۲۰۰-۹.

https://sid.ir/paper/220148/fa

Abunyewah M, Gajendran T and Maund K., 2018. Profiling Informal Settlements for Disaster Risks, Procedia Engineering, Vol. 212: 238-245. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.031

Byron Walker B، Nadine S، David S، John J., 2021. GIS-based multicriteria evaluation for earthquake response: a case study of expert opinion in Vancouver, Canada. Natural Hazards، 105:2075–2091. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04390-1

Enzo F., Zambrano-Verratti, J., and Reinout, K., 2019. Web-Based Participatory Mapping in Informal Settlements: The Slums of Caracas, Venezuela, Habitat International, in Press, Corrected Proof, Available Online, Article 102038. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.102038

Guoa X, Kapucub N., 2020. Assessing social vulnerability to earthquake disaster using rough analytic hierarchy process method: A case study of Hanzhong City, China، Safety Science 125 :104625. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104625

Ghorbanzadeh O، Feizizadeh B, Blaschke T., 2018. Multi-criteria risk evaluation by integrating an analytical network process approach into GIS-based sensitivity and uncertainty analyses. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1): 127-151. https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1413012

Jena R, Pradhan B, Beydoun G., 2020. Earthquake vulnerability assessment northera sumatra province by using a multi-criteria decision-making model, International Journal of Disaster Risk Reduction 46: 1-28. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101518

Jasemi M and Ahmadi E., 2018. A new fuzzy ELECTRE-based multiple criteria method for personnel selection، Sharif University of Technology، Scientia Iranica E ، Transactions E: Industrial Engineering . 25(2): 943-953. https://www.scientiairanica.sharif. edu

Lyu H, Shuilong J, Arulrajah A., 2018. Assessment of geohazards and preventative countermeasures using AHP incorporated with GIS in Lanzhou, China." Sustainability 10(2). 304. https://doi.org/10.3390/su10020304

Neeraj, D., and Sandra, C., 2019. Residents'self-Initiatives for Flood Adaptation in Informal Riverbank Settlements of Kathmandu, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 40, Article 101156. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101156

Ratiranjan J ،Biswajeet P، Ghassan B، Nizamuddin H، Ardiansyah A، Muzailin A., 2020. Integrated model for earthquake risk assessment using neural network and analytic hierarchy process: Aceh province, Indonesia، Geoscience Frontiers 11:613–634. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.07.006

Smith H، Coupé F، Ferrari S ، Rivera H، Mera W., 2020. Toward negotiated mitigation of landslide risks in informal settlements: reflections from a pilot experience in Medellin, Colombia، Ecology and Society 25(1). 19. https://doi.org/10.5751/ES-11337-250119

Senvar, O. Tuzkaya, G., Kahraman, C., 2014. Multi Criteria Supplier SelectionUsing Fuzzy PROMETHEE Method, Journal of Department of Industrial Engineerin Marmara University, 3 (12).21-34. https://doi.org/10.1007/978-3-642-53939-8_2

Ventura S، Frigerio I, Strigaro D, Mattavelli M, Amicis M, Mugnano S, Boffi M., 2016. A GIS-based approach to identify the spatial variability of social vulnerability to seismic hazard in Italy، Applied Geography 74 : 12-22. https://www.elsevier.com/locate/apgeog

Yariyan P, Avand M, Soltani F, Ghorbanzadeh O, Blaschke T., 2020. Earthquake Vulnerability Mapping Using Different Hybrid Models, Symmetry 12(405): 1-31. https://doi.org/10.3390/sym12030405

Yazdani M, Zavadskas E, Ignatius J, Doval Abad M., 2016. Sensitivity Analysis in MADM Methods: Application of Material, Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics 27(4) 382. http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.27.4.14005